全段直結構成のオペアンプICドライブ方式，最大出力4.5W

2E24シングル ハイブリッドパワーアンプ

岩村保雄　IWAMURA Yasuo

出力管に送信管2E24とオーディオ用オペアンプを組み合わせたハイブリッドのシングルパワーアンプ．2E24はグリッド電圧±10Vでドライブできるのでバイアス電圧を0Vとし，オペアンプと組み合わせてコンデンサーレスの直結回路を試みた．負帰還量は少なめの10dBを目標に設定．歪率4%での最大出力は4.5W，帯域幅は25Hz～40kHz（－1dB）と物理特性も良好で，出てくる音はハイブリッドという言葉のイメージと違って，小気味よいパワーが感じられた．

はじめに

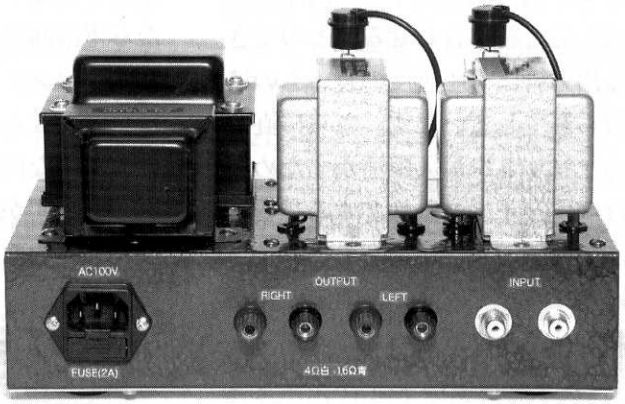
小出力5極管C3mとオーディオ用オペアンプを組み合わせたハイブリッドプッシュプルアンプを本誌2011年2月号に発表しました．このハイブリッドアンプが，予想以上に出力が取れたのは直結ドライブのメリットと考えられますが，直結という回路構成は，出力だけでなく音質に関しても大きなメリットがあると考えています．

信号経路から段間トランスやコンデンサーを排除する試みは，古くはロフチン・ホワイトアンプに遡ることができます．段間トランスやコンデンサーはアンプの音を支配する要素であり，一概に悪者というわけではありません．筆者もこれまでにトランス結合アンプを発表してきましたし，その効用をおおいに評価しています．

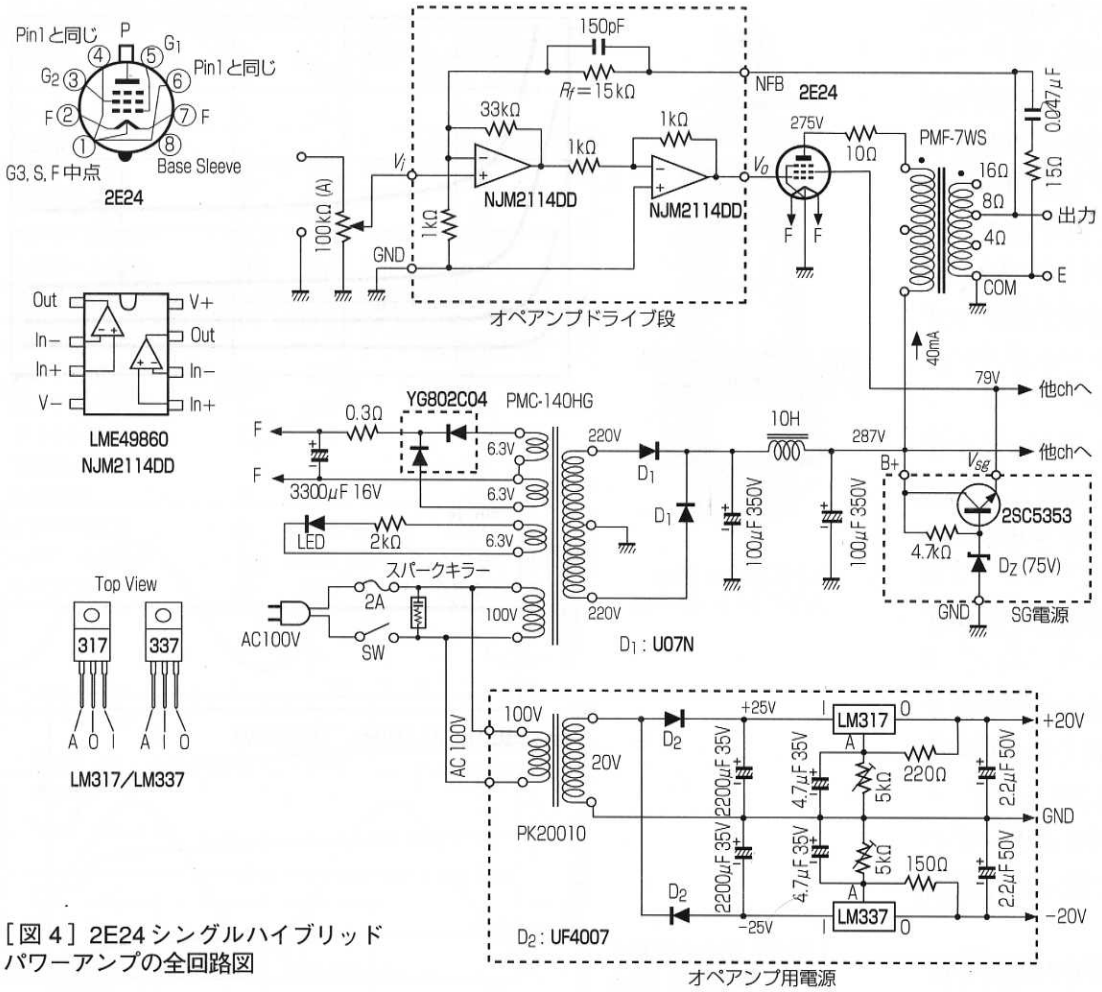
直結アンプとはいうものの，先に発表したC3mプッシュプルアンプにしても，直結回路構成のロフチン・ホワイトアンプにしても，自己バイアス用のバイパスコンデンサーが使われていて，信号経路からコンデンサーがすべて排除されているわけではありません．また，初段，ドライブ段に真空管を使った直結回路では，どうしても高いB電圧が必要ですし，動作点のドリフトが気になるといったマイナス面がつきまといます．

最近はオーディオ用オペアンプと称するものが高速，低雑音のデバイスとして幅を利かせ，さまざまなオーディオ機器で使われています．これは基本的にDCアンプなので，その直流的な安定度には目を見張るものがあります．さら

［写真1］真空管ソケット側のヘアラインのアルミ板は使わない孔を隠すためのもの．シャシー前面左はボリューム



［写真2］シャシー背面は左にIEC電源コネクター，中央は出力端子，右はRCA入力端子



［図4］2E24シングルハイブリッドパワーアンプの全回路図

レート電流のチェックをするためにプレートと出力トランスの間に10Ωの抵抗を挿入しています．

負帰還量は5極管接続のアンプとしては，比較的少なめの10dBを目処に設定しました．アンプとしての入力感度と負帰還量は，初段オペアンプの帰還抵抗33kΩとオーバーオールの帰還抵抗R_f＝15kΩの組み合わせで満足できる特性となりました．さらに負帰還アンプとしての安定性を確保するために，150pFをR_fと並列に接続するとともに出力端に15Ωと0.047μFを接続してあります．

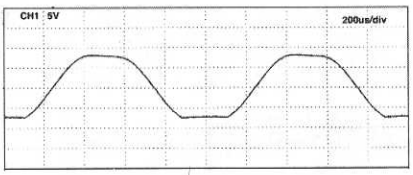
2E24は直熱5極管で，電源オンから10秒で動作可能という送信用の真空管です．この真空管をオーディオ用として使うには，どうしても残留ハムが問題になるので，ヒーターは直流点火とせざるを得ません．ここでは6.3Vの巻線を使ってショットキーバリアダイオードで整流し，0.3Ωと3300μFの簡易平滑回路で直流電圧6.3Vを得ています．ショットキーバリアダイオードを使うと電圧降下が小さいので，抵抗なしでは点灯した状態でも6.6Vと思いのほか高い電圧が得られます．

使用部品

真空管2E24はRCAのものが手に入ります．これまであまり使われていない真空管なので安価ですが，それだけに大量に出回っているわけでもないようです．2E24は直熱5極管ですが，同等品で傍熱管の2E26があるので，これを使えばヒーターまわりを簡単化することができます．

出力トランスにはオリエントコア使用のノグチトランスPMF-7WSを使っています．PMF-7WSの特性と結線を図5に示します．巻線抵抗から計算したPMF-7WSの電力損失は0.6dBです．

電源トランスはノグチトランスPMC-140HGを使います．B電源用の220Vという比較的低い電圧で，140mAの電流が取れる割には小型なのでこれに決めました．電流容量は本機には多すぎるほどですが，これならば将来，小型のプッシュプルアンプにも使うことができます．また，オペアンプ用電源には基板用の電源トランスPK20010（20V，100mA）を使い，半波整流して正負電圧を得てから3端子の可変電圧レギュレーターLM317とLM337を使って±20Vとしました．



［図7］飽和時の1kHz出力波形

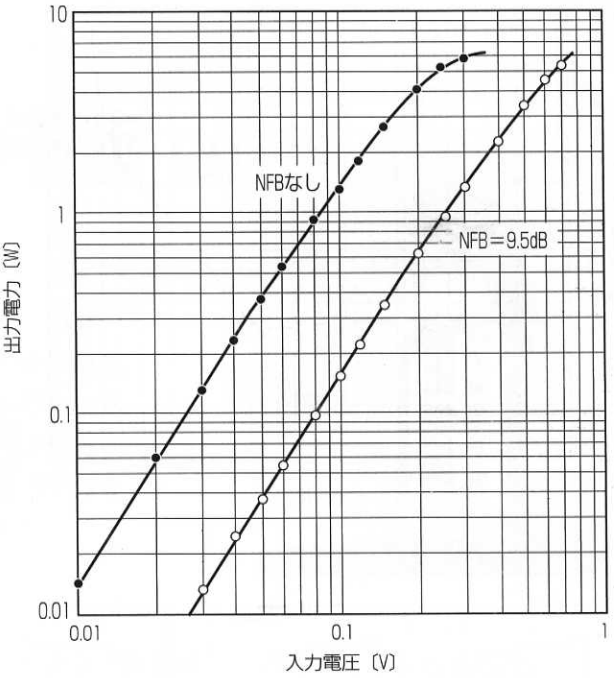
設定が適切だったことを物語っています．

残留ハムはボリュームを絞り切った状態で，片チャンネル動作で2mVと我慢できるというレベルです．直流点火をしているのですが，簡略化のためにフィラメントの中点を接地しているだけで，ハムバランサーを省略しているためと考えています．この「中点を接地」というのがかなり曲者で，電源オンした当初は3mV以上ありますが，10分ほどしてフィラメントが暖まるに従って小さくなります．

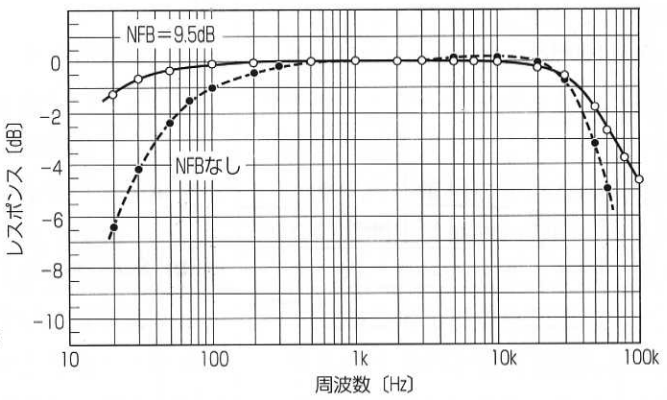
NFBを掛ける前とNFBを9.5dB掛けたときの入出力特性を図8に示します．最大出力は波形の観測ならびに歪率（4%）の測定から4.5Wとなりました．

NFBなしとNFBを9.5dB掛けたときの周波数特性（8Ω出力端子，出力0.5W）を図9に示します．NFBなしの特性は出力トランスの周波数特性がそのまま反映しているようです．NFBを掛けたときは，安定動作のために位相補償した後でも帯域幅は25Hz～40kHz（－1dB）と適当なバランスとなっています．

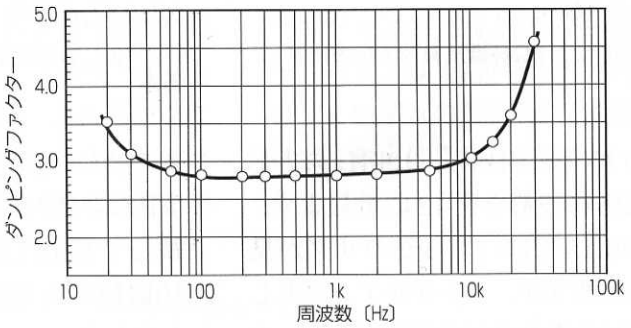
ダンピングファクターDFの測定をオン・オフ法で行いました．図10のように，本機では中域周波数でのDFは50Hzから10kHzでほぼ2.8一定となっています．これは大型のスピーカーでは適当な値ですが，小型スピーカーにとってはもう少し大きいほうがよいかもしれません．



［図8］入出力特性（8Ω出力，1kHz）



［図9］周波数特性（0dB＝0.5W）

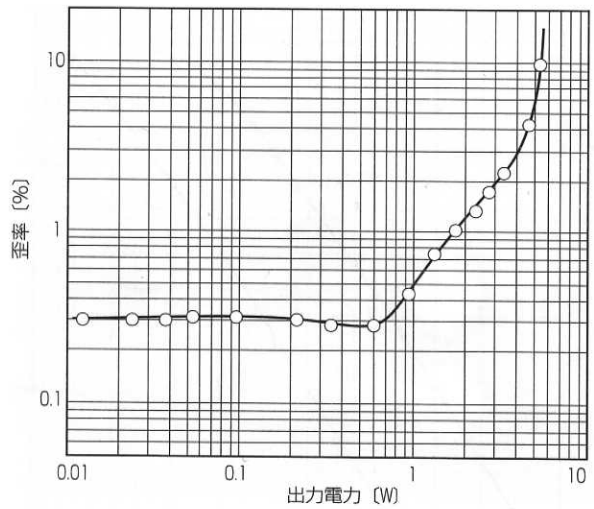


［図10］ダンピングファクター

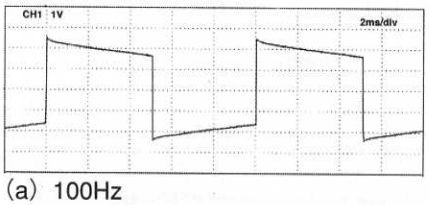
1kHzで測定した歪率特性を図11に示します．この図から最大出力を歪率4%までとした場合は4.5W，2E24の定格表のように歪率10%までとすると，定格表の3.9Wに対して本機は5.5Wと，直結ドライブの効果か，だいぶ大きな出力となっています．通常の聴取レベルと考えられる出力0.1Wでの歪率は約0.3%（1kHz）です．この歪率が出力0.6W以下で0.3%一定という特性は出力トランスに起因すると想像しています．

方形波応答波形

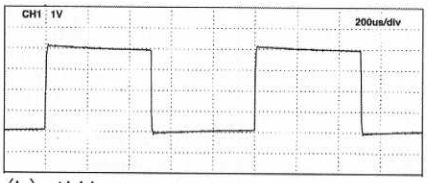
8Ωの純抵抗を負荷としたとき



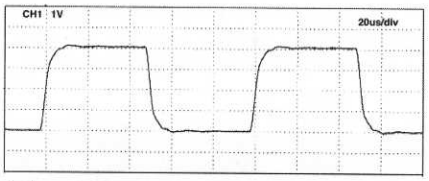
［図11］
歪率特性（1kHz，400 Hzローカットフィルターを使用）



(a) 100Hz

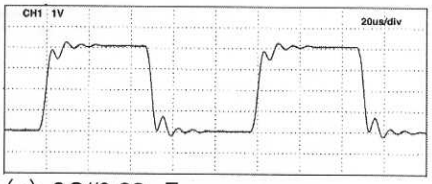


(b) 1kHz

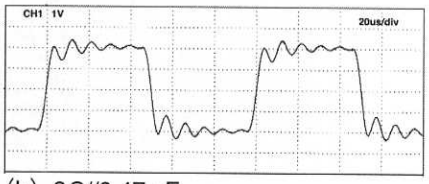


(c) 10kHz

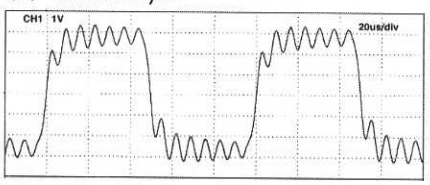
［図12］8Ω純抵抗負荷方形波応答



(a) 8Ω//0.22μF



(b) 8Ω//0.47μF



(c) 0.47μFのみ

［図13］容量性負荷時の10kHz方形波応答

の100Hz，1kHz，10kHzの方形波応答波形を図12に示します．100Hzではいくらかのサグが見られますが，シングルアンプとしてはかなり良好な波形です．一方の10kHzの波形でも，角が丸まっているだけで十分に高域まで伸びていることがわかります．

特性の改善のために負帰還を掛けているアンプでは，その見返りとして負荷の条件によっては動作が不安定になることがあります．本機でも9.5dBのNFBを掛けているので，動作の安定性を確認するために，出力端子に8Ωと0.22μFおよび8Ωと0.47μFを並列接続して容量性負荷としたときの10kHzの方形波応答波形を観測しました．

図13(a)，(b)の8Ωと0.22μFおよび8Ωと0.47μFでは出力波形に若干のリンギングが見られますが，この程度ならば十分安定と考えられます．さらに，出力端子に0.22μFのみを接続した純容量負荷の場合の出力波形を図13(c)に示します．容量性負荷の波形と比べてリンギングが一段と大きくなりますが，発振に至ることはありません．

試聴とまとめ

いつも試聴しているシステムにより，The Complete 'Overseas'（トミー・フラナガン・トリオ）DIW-488，ムソルグスキー/展覧会の絵（キーシン）09026 63884 2を試聴しました．キーシンのピアノが圧倒的な迫力で再生されます．このCDに限らず，本機はピアノの再生が得意なようです．

聴感上ちょっとハイが勝っている気がしますが，特性上では20Hz～40kHzで1dB落ちと問題ないので，2E24が送信管であるせいでしょうか．かなり小型のアンプですが，'Overseas'では小気味よいパワーが感じられました．

埼玉県蕨市で5月3日に開催した試聴会で，この2E24シングルパワーアンプを聴いていただき，そのときのアンケートには，ハイブリッドアンプそのものに肯定的な意見が多く，さらに「製作してみたい」という記述もあり，心強く感じました．

本機は2E24のプレート特性から0バイアス動作が可能になり，オーディオ用オペアンプを採用したことと相まって，回路が本当にシンプルになりました．オペアンプを使ったパワーアンプとしてはまだまだ詰め切れていない点が多々あると思いますが，本機の発表によりシングルハイブリッドパワーアンプの可能性が認識されれば嬉しい限りです．

注）試聴はCDプレーヤー：DCD-S10Ⅲ-L，自作ラインアンプ（未発表），スピーカー：アルテック604-8Hウーファー＋アルテック802D/811Bホーン＋GOTO SG17sで行っている．